

Patent Application Publication

DE 195 04 098 A1

(54) Process for continuous determination of a changing internal pressure pattern in the working chamber of a piston engine, especially of the combustion pressure pattern of an internal combustion engine of the piston type by means of indirect measured value acquisition of the amounts of motion of the components which enclose the combustion chamber

(57) Process for continuous determination of a changing internal pattern in the working chamber of a piston engine, especially of the combustion pressure pattern of an internal combustion engine of the piston type by means of indirect measured value acquisition of the amounts of motion of the components which enclose the combustion chamber, characterized in that using suitable sensors the motion signal of the components and the internal pressure signal are recorded metrologically in a comparable operating state of the internal combustion engine and then a correction model is determined by a comparison process. An inverse calculation is used for plausibility checking of the correction model used. This correction model is used, similarly to a transfer function, to compute the internal pressure signal of an internal combustion engine from the motion signal of the components of the same internal combustion engine, which components enclose the combustion chamber, and which signal is recorded metrologically.

THIS PAGE BLANK (USPTO)



**⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

**⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 195 04 098 A 1**

⑤) Int. Cl. 8:
G 01 L 7/16
G 01 P 7/00
G 01 L 27/00

(21) Aktenzeichen: 195 04 098.8
(22) Anmeldetag: 8. 2. 95
(43) Offenlegungstag: 22. 8. 98

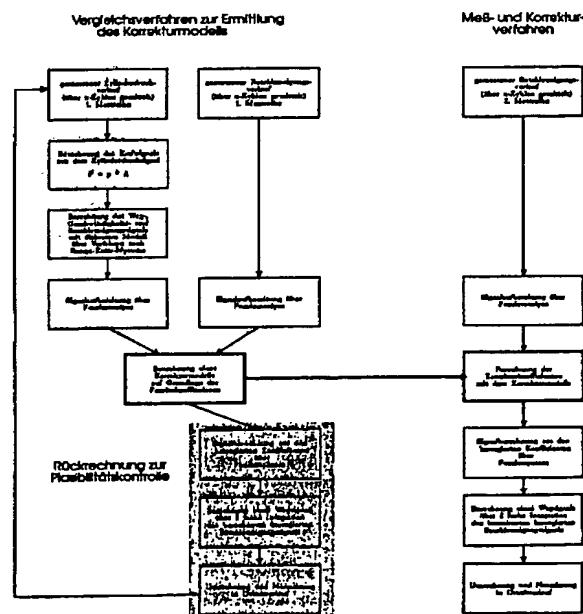
DE 19504098 A1

(7) Anmelder:
Energie-Umwelt-Beratung e.V. -Institut-, 18239
Hohen Luckow, DE

(72) Erfinder:
Moeck, Ralf, 18057 Rostock, DE; Thomas, Sven,
23968 Wismar, DE

- 54 Verfahren zur kontinuierlichen Bestimmung eines sich ändernden Innendruckverlaufs im Arbeitsraum einer Kolbenmaschine, insbesondere des Verbrennungsdruckverlaufs einer Verbrennungskraftmaschine der Kolbenbauart mittels indirekter Meßwerterfassung von Bewegungsgrößen der brennraumumschließenden Bauteile**

- 57) Verfahren zur kontinuierlichen Bestimmung eines sich ändernden Innenverlaufs im Arbeitsraum einer Kolbenmaschine, insbesondere des Verbrennungsdruckverlaufs einer Verbrennungskraftmaschine der Kolbenbauart mittels indirekter Meßwert erfassung von Bewegungsgrößen der brennraumschließenden Bauteile, gekennzeichnet dadurch, daß mit Hilfe geeigneter Sensoren das Bewegungssignal der Bauteile und das Innendrucksignal maßtechnisch bei vergleichbarem Betriebszustand der Verbrennungskraftmaschine aufgenommen wird und anschließend durch ein Vergleichsverfahren ein Korrekturmödell ermittelt wird. Eine Rückrechnung dient der Plausibilitätskontrolle des verwendeten Korrekturmödells. Dieses Korrekturmödell dient, ähnlich einer Übertragungsfunktion, der Berechnung des Innendrucksignals einer Verbrennungskraftmaschine aus einem maßtechnisch aufgenommenen Bewegungssignal der brennraumschließenden Bauteile derselben Verbrennungskraftmaschine.



Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 08. 98 602 034/23

Beschreibung

Gegenstand der Erfindung

Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur kombinierten meßtechnischen und rechnerischen Bestimmung des Innendruckverlaufs in Kolbenmaschinen speziell des Verbrennungsdruckverlaufs von Verbrennungskraftmaschinen.

Stand der Technik

Zur Innendruckermittlung von Verbrennungskraftmaschinen werden meist Druckaufnehmer verwendet, die den direkten Prozeßgrößen Prozeßdruck, -temperatur ausgesetzt sind. Dabei kommen mechanische Indiktorschreiber mit manueller Auswertung des analogen Meßsignals und piezoelektrische Druckaufnehmer zur Anwendung.

Diese direkten Meßverfahren sind mehr oder weniger starken Fehlereinflüssen unterlegen. Wesentliche Fehlerursachen sind die auftretenden hohen thermisch/mechanischen Belastungen der Sensorik sowie die Gas-säulenschwingungen in den Meßkanälen.

Weiterhin sind nachfolgend beschriebene indirekte Meßverfahren bekannt, bei denen Signale auf Außenflächen, auf und an Einzelbauteilen des Motors gemessen werden, mit denen auf den Zylinderdruck geschlossen werden kann.

Ein Verfahren nutzt die Kraftmessung zwischen Zylinderkopf und Mutter der Dehnschraube als Maß für die dem Zylinderdruck proportionale Dehnung der Dehnschraube. Für Einzylinderdieselmotoren ergibt die Messung der Drehungleichförmigkeit gemessen am freien Ende der Kurbelwelle, den Zeitpunkt und die Größenordnung der Momenteinwirkung des Kolbens auf die Kurbelwelle. Das erforderliche Drehschwingungssystems ist mathematisch beschreibbar. Die erzielte Genauigkeit der Zylinderdruckberechnung aus dem Kurbelwellengeschwindigkeitssignal soll der des mit einem ungekühlten Drucksensor gemessenen Zylinderdrucks entsprechen. Aufgrund der Kompliziertheit des Drehschwingungssystems von Mehrzylindermotoren ist dieses sehr schwer mathematisch zu beschreiben, so daß keine eindeutige Größenzuordnung oder eingebrachten Momente zu den entsprechenden Zylindern möglich ist. Bei einem beschriebenen Verfahren wird auf dem Zylinderkopf ein Aufnehmer zur Messung der Beschleunigung in Richtung der Zylinderachse angeordnet und der Zylinderdruckverlauf mit Hilfe einer Auswerteelektronik und einem Masse-Dämpfung-Elastizität-Modell aus dem gemessenen Beschleunigungsmo dell ermittelt. Dabei kommt ein Zweimassenmodell zur Anwendung, dessen Zeitverhalten durch Differentialgleichungen beschrieben wird. Dabei wird die dem Zylinderdruck proportionale Gaskraft als Eingangsfunktion verwendet und die Beschleunigung als Systemausgang berechnet. Anschließend wird das gemessene Beschleunigungssignal mit dem Berechnungsergebnis verglichen und über iterative Änderungen der Modellparameter angepaßt. Die nachfolgende Lösung des so geänderten Bewegungsdifferentialgleichungssystems ergibt ein in großen Drucksteigerungsbereichen vergleichbare Signalverläufe.

In einem weiteren Verfahren, das auf das auf der Motoroberfläche gemessene Beschleunigungssignal zurückgreift, wird eine Übertragungsfunktion zwischen

dem gemessenen Beschleunigungssignal und dem Zylinderdruckverlauf ermittelt. Mit Hilfe der Fast Fourier Transformation werden die zeitgefensterten Beschleunigungssignale in den Frequenzbereich überführt. Aus einem Kreuzleistungsspektrum des Verbrennungsdrucks signals und dem Beschleunigungssignal der brennraumumschließenden Bauteile und dem Autoleistungsspektrum des Verbrennungsdruckverlaufs läßt sich dann die Übertragungsfunktion ermitteln. Das Verfahren wird in unterschiedlichen Last- und Drehzahlbereichen wiederholt und die einzelnen Übertragungsfunktionen werden mit einer Kohärenzfunktion gewichtet und gemittelt. Dabei wird davon ausgegangen, daß die ermittelte Gesamtübertragungsfunktion unabhängig vom Last- und Drehzahlbereich anwendbar ist. Ergebnisse brachte dieses Verfahren nur in einem begrenzten Kurbelwinkelbereich, im speziellen in der Hochdruckphase des Verbrennungsprozeß.

20

Ziel der Erfindung

Ziel beim Einsatz von Meßverfahren zur Zylinderdruckanalyse in Verbrennungskraftmaschinen ist es, dem Betreiber permanent Aussagen in einer hohen Genauigkeit und mit geringer Fehlerbehaftung über den Verbrennungsablauf in dem für die Verbrennungsgüte relevanten Kurbelwinkelbereich über den Verbrennungsablauf und die sich daraus ergebenden Anlagenparameter zur Verfügung zu stellen. Dies können die direkten Meßverfahren auch bei Kompensation der aufgeführten Fehlereinflüsse mit vertretbarem Kostenaufwand nicht leisten. Deshalb werden bei vorliegender Erfindung indirekt erfassbare Meßgrößen genutzt und deren Abhängigkeit zum Zylinderdruck physikalisch/mathematisch beschrieben.

Ausführungsbeispiel

Es wird deshalb vorgeschlagen, an einem ungestörten Motor an den brennraumumschließenden Bauteilen einen Aufnehmer zur Messung von Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- oder Wegsignalen, anzubringen und zu einer Meßkette, die der Übertragung und Aufbereitung der Signale dient, zu verknüpfen.

Zur Inbetriebnahme oder Neueinstellung der Meßeinrichtung, ist neben einem lastpunktabhängigen Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- oder Wegsignal, dem lastpunktabhängigen Spülluftdruck, ein lastpunktabhängiger Zylinderdruck vorzugeben oder ein lastpunktabhängiger Zylinderdruck zu messen.

Mit Hilfe eines einfachen Feder-Masse-Dämpfer-Modells für die brennraumumschließenden Bauteile wird aus einem vorgegebenen oder gemessenen Zylinderdruckverlauf ein Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- oder Wegsignal berechnet und als Vergleichskriterium für, in äquivalenten Betriebspunkten, gemessene Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- oder Wegsignale an brennraumumschließenden Bauteilen herangezogen. Die gemessenen Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- oder Wegsignale werden mit den aus den Zylinderdruckverlauf errechneten Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- oder Wegsignalen nach einer Fourierreihenentwicklung (n-ter Ordnung) mit ihren Amplituden und Phasenwinkeln in der komplexen Zahlenebene zu einer Korrekturtabelle verknüpft. Diese Korrekturtabelle beschreibt die äußeren Einflußfaktoren, die auf das Systemverhalten der brennraumumschließenden Bauteile wirken. Mit Hilfe der als Übertragungsfunktion wirken-

den Korrekturtabelle können nachfolgend an brennraumschließenden Bauteilen gemessene Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- oder Wegsignal in dem Zylinderdruck proportionale Signale umgewandelt werden.

Anschließend ist das Signal mit Hilfe von Stützstellen, die aus dem lastpunktähnlichen SpülLuftdruck und aus dem vorgegebenen oder gemessenen lastpunktproportionalen Zylinderdruckverlauf gewonnen werden, die noch nicht oder nicht mehr durch den Verbrennungsprozeß beeinflußt werden, in den Zylinderdruckverlauf umzuwandeln.

Die Erfindung wird an Hand der nachfolgenden Bilder erläutert.

Aus Fig. 1 ist der Bearbeitungsablauf ersichtlich. Er stellt schematisch die einzelnen Bearbeitungsschritte dar, die notwendig sind, um aus einem gemessenen Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- oder Wegverlauf einen Zylinderdruckverlauf zu berechnen.

Fig. 2 zeigt das Feder-Masse-Dämpfer-System der brennraumschließenden Bauteile mit 4 Freiheitsgraden zur Berechnung eines theoretischen Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- oder Wegsignals.

Fig. 3 stellt den an den brennraumschließenden Bauteilen gemessenen Beschleunigungsverlauf dar.

Fig. 4 stellt einen zeitgleich zum Beschleunigungssignal (Fig. 3) gemessenen oder entsprechend dem eingesetzten Lastpunkt des Motors vorgegebenen Zylinderdruckverlauf dar.

Fig. 5 zeigt das Berechnungsergebnis (Beschleunigung) des mit dem in Fig. 4 dargestellten Zylinderdrucks signals angeregten Feder-Masse-Dämpfer-Systems (Fig. 2).

Fig. 6 stellt das Berechnungsergebnis des vorgestellten Verfahrens zur Bestimmung des Zylinderdruckes aus einem gemessenen Beschleunigungs- Geschwindigkeits- oder Wegsignal dar.

Patentansprüche

1. Verfahren zur kontinuierlichen Bestimmung des Innendruckverlaufs einer Kolbenmaschine, insbesondere einer Verbrennungskraftmaschine, durch indirekte meßtechnische Erfassung von Bewegungsgrößen brennraumschließender Bauteile gekennzeichnet dadurch, daß direkt oder berührungslos an der Außenseite der brennraumschließenden Bauteile wirkende Beschleunigungen, Geschwindigkeiten oder Wege meßtechnisch erfaßt und über ein in einem Rechner mitlaufendes mathematisches Korrektur- und Normierungsmo-

dell so bearbeitet werden, daß ein dem Innendruckverlauf äquivalenter Signalverlauf abgeleitet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur einmaligen Kalibrierung eines Korrekturmodells der Innendruckverlauf zeitgleich mit dem wirkenden Weg-, Geschwindigkeits- oder Beschleunigungssignal erfaßt wird und unter Verwendung des Innendruckverlaufs als Erregergröße über ein das Bauteilsystem beschreibendes diskretes Schwingungsmodell der theoretische Bewe-

gungsablauf der Bauteile bestimmt wird, so daß sich im Ergebnis ein berechnetes, von äußeren Störinflüssen freies Weg-, Geschwindigkeits- oder Beschleunigungssignal ergibt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das gemessene sowie das mit Hilfe des diskreten Schwingungsmodells berechnete

Weg-, Geschwindigkeits- oder Beschleunigungssignal mit Hilfe der Fourieranalyse in vereinfachte Weg-, Geschwindigkeits- oder Beschleunigungssignal überführt werden und durch den Vergleich der Fourierreihenfaktoren aus gemessenem und berechnetem Weg-, Geschwindigkeits- oder Beschleunigungssignal ein Korrekturmodell erstellt wird, das die äußerer Störinflüsse auf das gemessene Signal beschreibt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das vereinfachte korrigierte Weg-, Geschwindigkeits- oder Beschleunigungssignal unter Verwendung bekannter, lastpunktähnlich konstanter Innendruckparameter in ein dem Innendruck äquivalentes Signal überführt wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

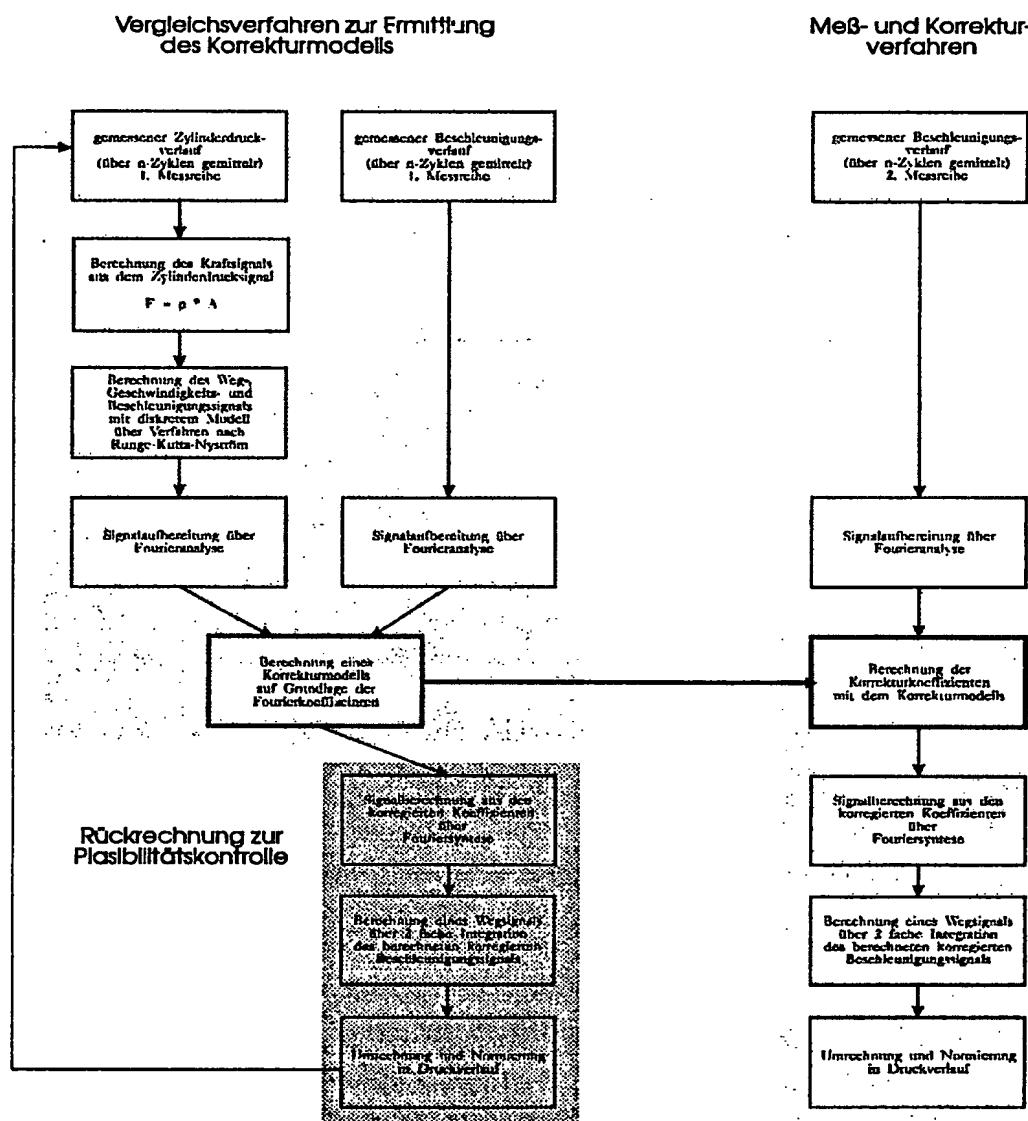
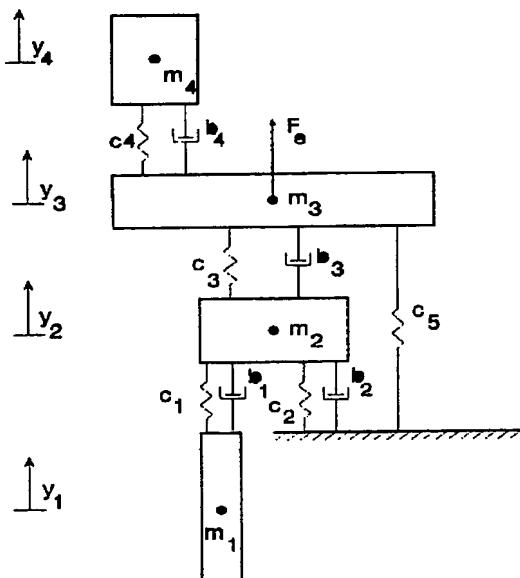


Fig. 1: Bearbeitungs- und Verknüpfungsstruktur zur Berechnung des Zylinderdruckverlaufs



m_1	Masse Zylinderbuchsenhemd
m_2	Masse Zylinderbuchsenbund
m_3	Masse Zylinderkopf
m_4	Masse Auslaßventilkorb
c_1	Steifigkeit Zylinderbuchsenhemd
c_2	Steifigkeit Zylinderbuchsenbund
c_3	Steifigkeit Zylinderkopf
c_4	Steifigkeit Auslaßventilkorb
c_5	Steifigkeit Zylinderkopfdehnschraube
b_1	Dämpfung Zylinderbuchsenhemd
b_2	Dämpfung Zylinderbuchsenbund
b_3	Dämpfung Zylinderkopf
b_4	Dämpfung Auslaßventilkorb
y_i	Bewegungsgrößen des Systems
F_e	wirkende Verbrennungsgaskraft

Fig. 2: diskrete Modellierung der brennraumumschließenden Bauteile als Vier-Massen-Modell

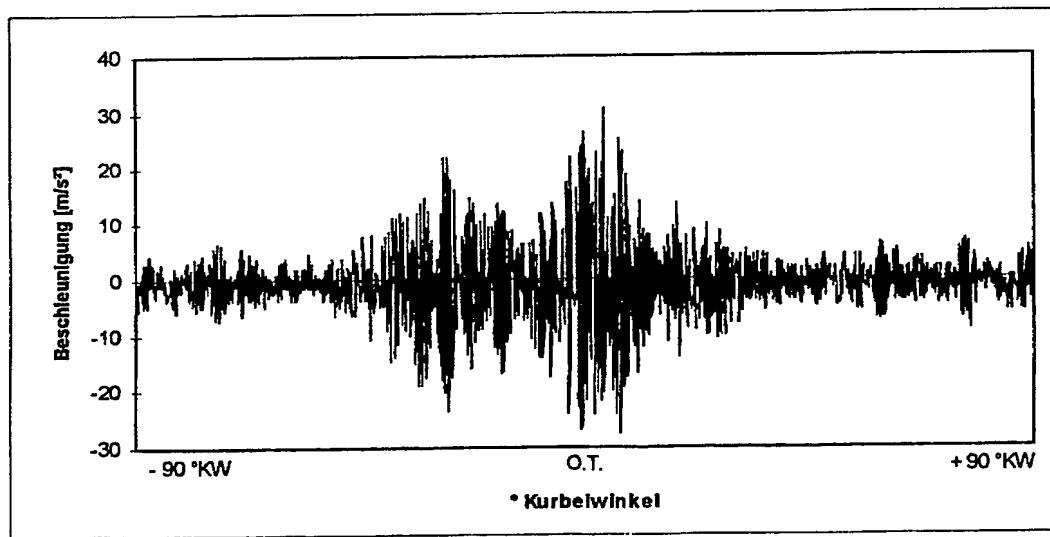


Fig. 3: gemessener Beschleunigungsverlauf

602 034/23

BEST AVAILABLE COPY

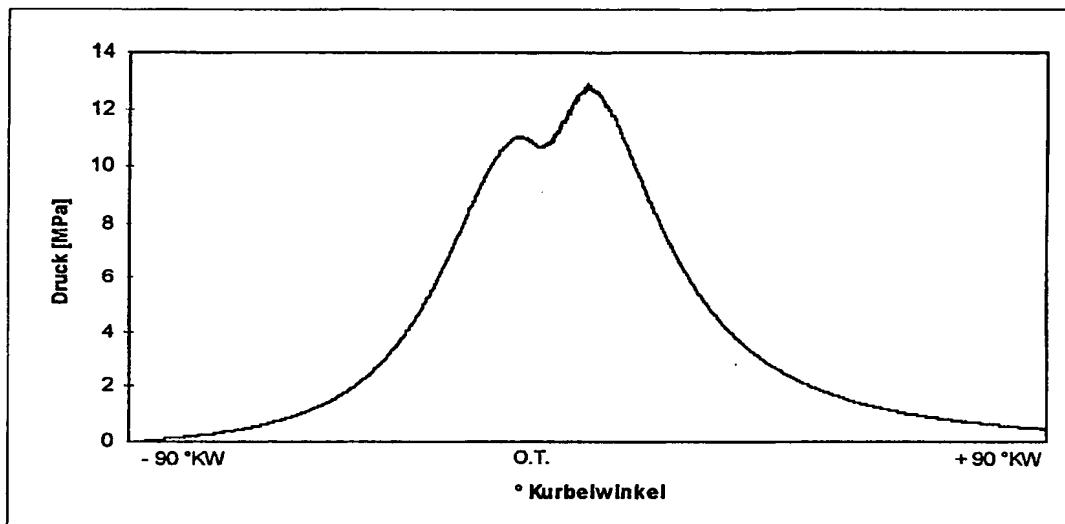


Fig. 4: parallel zum Beschleunigungsverlauf gemessener Zylinderdruckverlauf

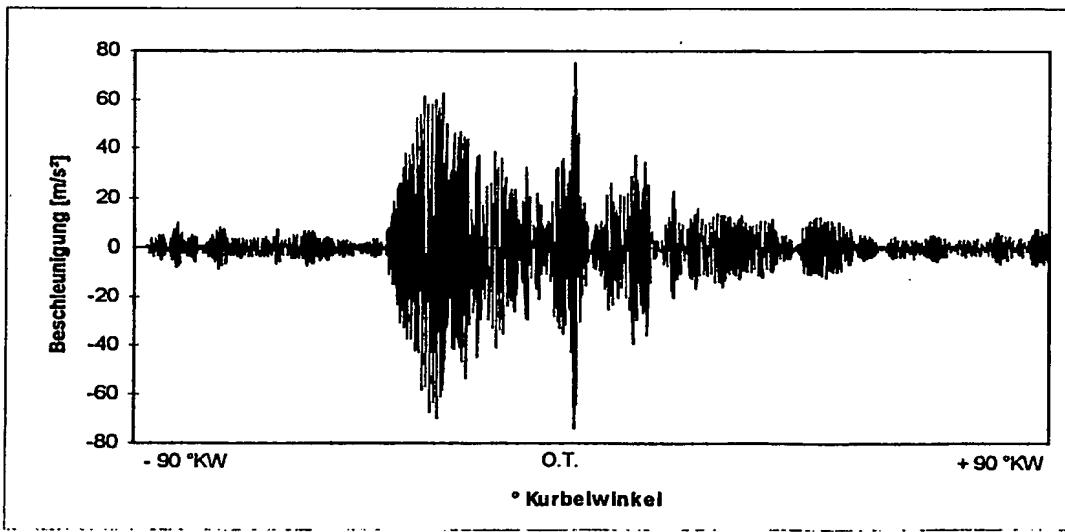


Fig. 5: berechneter Beschleunigungsverlauf des Zylinderkopfes

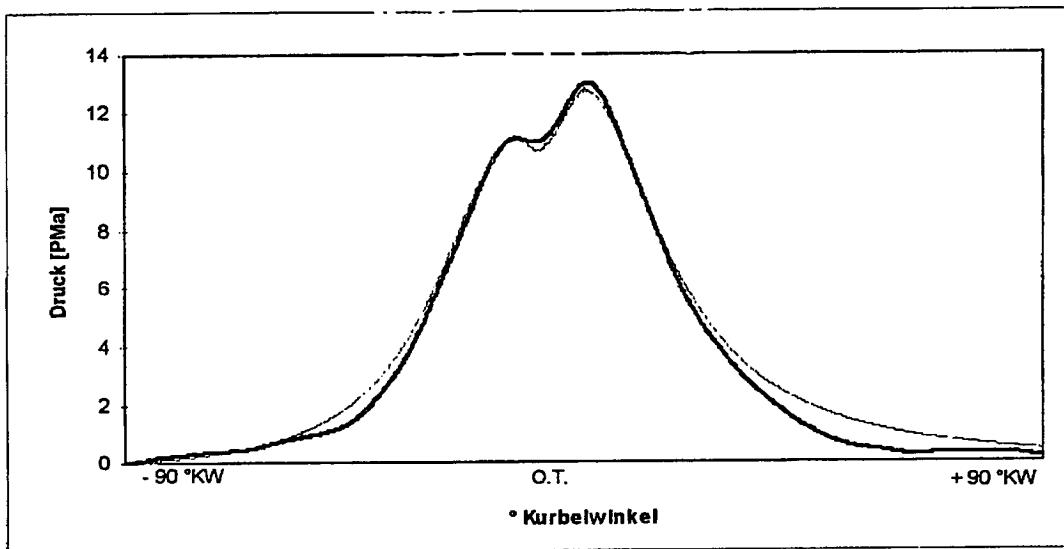


Fig. 6: Vergleich des gemessenen mit dem berechneten Zylinderdruckverlauf

BEST AVAILABLE COPY

602 034/23